

Heen en weer, op en neer

De jojo-onderwijsleerstrategie voor genetica

Marie-Christine Knippels

Genetica staat bekend als een van de moeilijkste onderwerpen in het biologieonderwijs voor zowel leerlingen als docenten. Marie-Christine Knippels onderzocht de moeilijkheden en ontwikkelde een strategie om de verschillende betrokken organisatieniveaus soepel te doorlopen: de jojo-strategie. Ook toepasbaar bij andere onderwerpen.

Genetica is een belangrijk onderwerp in onze huidige maatschappij. De ontwikkelingen in het genetisch onderzoek volgen elkaar snel op, de kranten informeren ons bijna dagelijks over nieuwe bevindingen in het wetenschappelijk biologisch onderzoek (bijvoorbeeld het Human Genome Project). Het is dan ook belangrijk dat leerlingen beschikken over een basiskennis van en inzicht in de erfelijkheid, zodat zij ook in het dagelijks leven weldoordachte beslissingen kunnen nemen (bijvoorbeeld rond het krijgen van kinderen, familieonderzoek).

Belangrijkste problemen

Maar het is wel een moeilijk onderwerp, dat is bekend. Veel artikelen in de internationale literatuur rapporteren over de moeilijkheden die leerlingen ondervinden in het begrijpen van de erfelijkheidsconcepten¹.

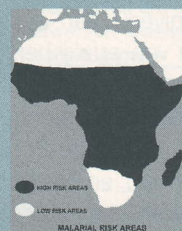
De verkennende fase van mijn onderzoek resulteerde in tien domeinspecifieke problemen waaruit twee sleutelproblemen werden geselecteerd om het vervolgonderzoek op te richten²: *de abstracte en complexe aard van genetica*.

Een scheiding in tijd en plaats van de onderwerpen erfelijkheid, voortplanting en meiose lijken verantwoordelijk te zijn voor de *abstracte aard* van genetica. Het traditionele geneticaonderwijs richt zich voornamelijk op het oplossen van kruisingsvraagstukken. Leerlingen komen problemen tegen bij het vertalen van teksten naar schema's en symbolen, en omgekeerd bij het lezen en interpreteren van schema's en symbolen. Daarbij moeten leerlingen wiskundige berekeningen uitvoeren met deze symbolen om deze vraagstukken op te lossen en ze moeten kansen relateren aan biologische fenomenen. Het kruisings-schema wordt veelal routinematig gebruikt zonder dit te koppelen aan werkelijke biologische fenomenen en processen, zoals de meiose.

De *complexe aard* van de genetica verwijst naar het feit dat erfelijkheidsfenomenen zich manifesteren op

verschillende biologische organisatieniveaus, en het gebruik van verschillende daarbij behorende termen. De complexe aard van genetica kan goed geïllustreerd worden aan de hand van het voorbeeld van sikkelcelanemie (figuur 1).

Populatienniveau



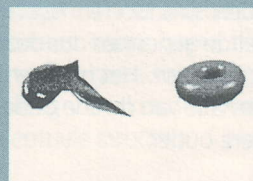
Een allel voor sikkelcelanemie (heterozygoot) beschermt tegen malaria - selectievoordeel

Organismenniveau



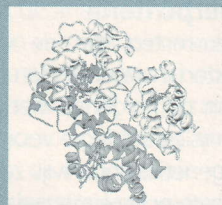
Ziekteverschijnselen

Celniveau

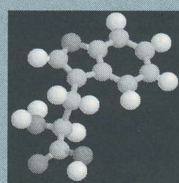


Sikkelvormige rode bloedcellen

Molecuulniveau



Verandering in de driedimensionale structuur van hemoglobine



Een kleine verandering in het DNA (puntmutatie) mondt uit in het inbouwen van een ander aminozuur



Figuur 1

De complexe aard van genetica: het voorkomen van sikkelcelanemie op de verschillende biologische organisatieniveaus

Figuur 2
**Vereenvoudigde weergave van de jojo-
onderwijsleerstrategie voor genetica**

Om deze erfelijke ziekte goed te begrijpen, moet men in staat zijn om de fenomenen en concepten op de verschillende biologische organisatieniveaus met elkaar te verbinden: een puntmutatie in het DNA (moleculaire niveau) leidt tot het inbouwen van een ander aminozuur wat resulteert in een verandering van de driedimensionale structuur van het eiwit hemoglobine. Hierdoor verandert de driedimensionale structuur van de rode bloedcellen in de karakteristieke sikkelvormige bloedcellen (cellulaire niveau), die problemen geven in de bloedcirculatie en zuurstofopname van het organisme. Dit resulteert in ziektesymptomen op het organismeniveau. Op het populatieniveau is de heterozygote vorm voor sikkelcelanemie gerelateerd aan een bescherming tegen de ziekte malaria. Door dit selectievoordeel blijft het sikkelcelallel in de populatie.

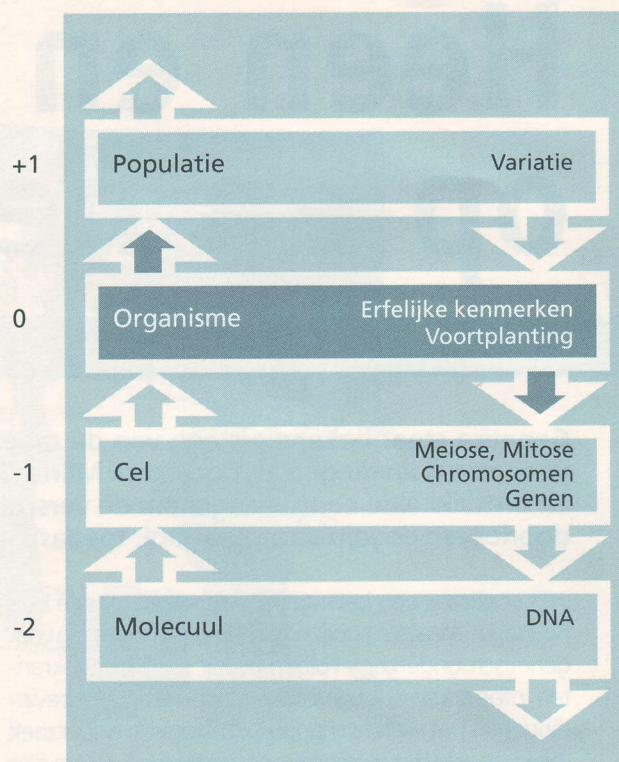
Heen-en-weer denken

Het voorbeeld illustreert dat erfelijkheid op het organismeniveau kan worden verklaard door het beschrijven van erfelijkheidfenomenen op de lagere organisatieniveaus. Een betekenisvol begrip van genetica vraagt het kunnen *heen-en-weer denken* tussen het moleculaire, cellulaire, organismale, en populatieniveau, en het verbinden van de verschillende structuren en processen op deze niveaus. Biologen, waaronder biologiedocenten, hebben zich deze 'denkvaardigheid' al eigen gemaakt en gebruiken deze automatisch. Leerlingen komen in de problemen, omdat biologiedocenten en schoolboekauteurs vaak impliciet springen van het ene naar het andere niveau, getuige het voorbeeld in *Pasteur 4v*: 'Ouders produceren nakomelingen die grotendeels dezelfde genen, en dus dezelfde eigenschappen hebben als zichzelf. Het heeft er veel van weg dat erfelijke informatie van de ene ouder gemixt is met die van de andere ouder.'

Ontwerpcriteria

De uitkomsten van de verschillende onderzoeksactiviteiten in resulteerden uiteindelijk in de formulering van de volgende vier ontwerpcriteria voor een onderwijsleerstrategie voor genetica:

- 1 Het geneticaonderwijs zou moeten starten op het concrete organismeniveau waarmee leerlingen bekend zijn en zou vandaar uit geleidelijk moeten afdalen naar het cellulaire niveau.
- 2 De relatie tussen meiose en erfelijkheid moet expliciet behandeld worden.
- 3 De twee belangrijke cellijnen, de somatische lijn (mitose) en de kiemlijn (meiose) zouden onderscheiden moeten worden in de context van de levenscyclus.



4 Leerlingen zouden de relaties tussen de biologische organisatieniveaus zelf moeten ontdekken, daarbij begeleid door de zorgvuldig geordende leeractiviteiten volgens de probleemstellende aanpak³.

Hantering van de problemen: ontwerpen van een onderwijsleerstrategie

Ontwerpcriterium 1 geeft aan dat de biologische organisatieniveaus stap voor stap behandeld moeten worden, startend op het concrete organismale niveau waarmee de leerlingen al bekend zijn, en geleidelijk inzoomend naar het cellulaire en moleculaire niveau. Wanneer leerlingen een niveau gaan afdalen, moeten zij ook de noodzaak voor het afdalen inzien, het moet betekenisvol voor hen zijn. Dit kon worden bereikt door leerlingen een (genetisch) probleem op het organismeniveau voor te leggen, dat zij alleen kunnen oplossen door gebruik te maken van genetische concepten op het cellulaire niveau (criterium 4).

Wat betreft de biologisch-inhoudelijke structuur van de onderwijsleerstrategie voor genetica waren criteria 2 en 3 essentieel. Het expliciet onderscheiden van de somatische cellijn en de kiemcellijn in een levenscyclus hielp de leerlingen te begrijpen dat groei & ontwikkeling en geslachtelijke voortplanting gekoppeld zijn aan verschillende celdelingprocessen (mitose en meiose). Deze maken zowel genetische continuïteit (cf. ongeslachtelijke voortplanting) als diversiteit mogelijk. De sleutelbegrippen in voortplanting en erfelijkheid zouden verkend moeten worden in de

opeenvolgende leeractiviteiten. Daarnaast is het proces van meiose een cruciale schakel in erfelijkheid. Het 'homologe chromosomen'-concept is vooral moeilijk voor leerlingen en dat gaf aanleiding tot de ontwikkeling van een chromosomenpracticum⁴.

Wij zullen hier niet de verschillende onderzoeksrondes (in de bovenbouwklassen van havo en vwo) in detail beschrijven, maar nader ingaan op het eindresultaat. Uit de eerste ronde bleek inderdaad dat leerlingen in staat waren de biologische organisatie-niveaus af te dalen en de biologische processen en fenomenen op de verschillende niveaus aan elkaar te relateren. Echter, leerlingen waren niet in staat om ook automatisch op te stijgen in de niveaus. Dit was het moment dat het idee van de jojo-strategie werd geboren.

De essentie daarvan is dat leerlingen uitgenodigd worden om 'omhoog en omlaag' te denken (heen-en-weer te denken) tussen de biologische organisatie-niveaus en de erfelijkheidsconcepten op deze niveaus met elkaar te relateren.

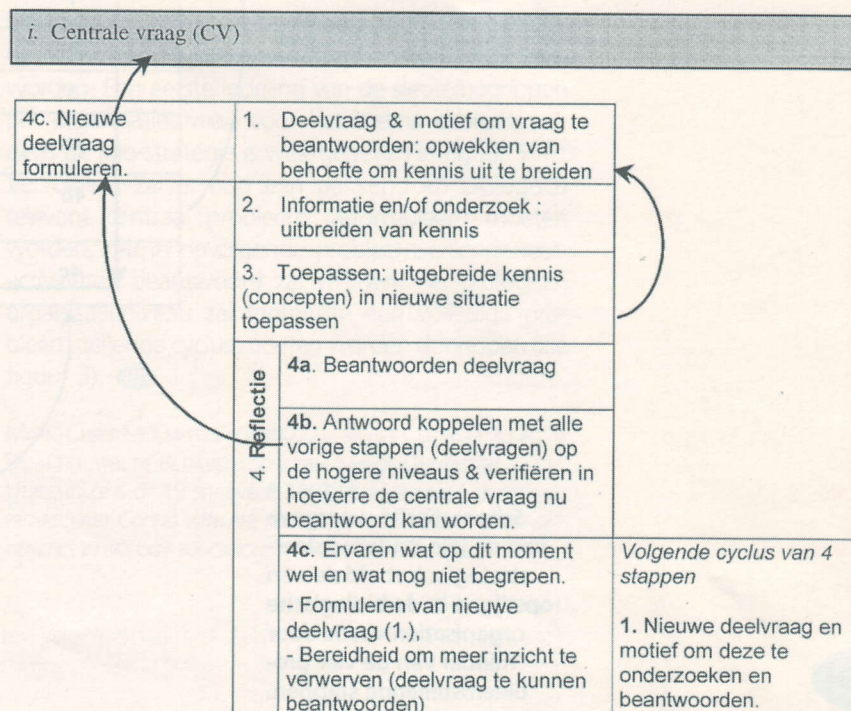
De jojo-onderwijsleerstrategie

Het algemene idee van de jojo-onderwijsleerstrategie wordt vereenvoudigd weergegeven in figuur 2: heen-en-weer denken (inzoomen en uitzoomen) tussen de biologische organisatie-niveaus, startend op het concrete organismeniveau en het onderling verbinden van de sleutelbegrippen op deze niveaus. Het afdalen en opstijgen van de biologische organisatie-niveaus gebeurt door middel van de twee verweven componenten: de genetisch-inhoudelijke structuur en de probleemstellende structuur.

De *genetisch-inhoudelijke structuur* in de jojo-onderwijsleerstrategie voor genetica bevat de genetische sleutelbegrippen ingedeeld naar de biologische organisatie-niveaus en is gepresenteerd als een sequentie van relevante vragen en antwoorden: de conceptuele lijn (zie bijlage 1)⁵. De *probleemstellende structuur* draagt zorg voor het opwekken en in stand houden van de leermotivatatie. Door het achtereenvolgens ontlokken van betekenisvolle vragen en antwoorden wordt een leerweg uitgestippeld.

De *probleemstellende structuur* bestaat uit een aantal opeenvolgende sequenties, cycli, elk bestaande uit vier stappen. Elke nieuwe cyclus start met de formulering van een deelvraag die verkend (onderzocht) en beantwoord wordt in de volgende leeractiviteiten.

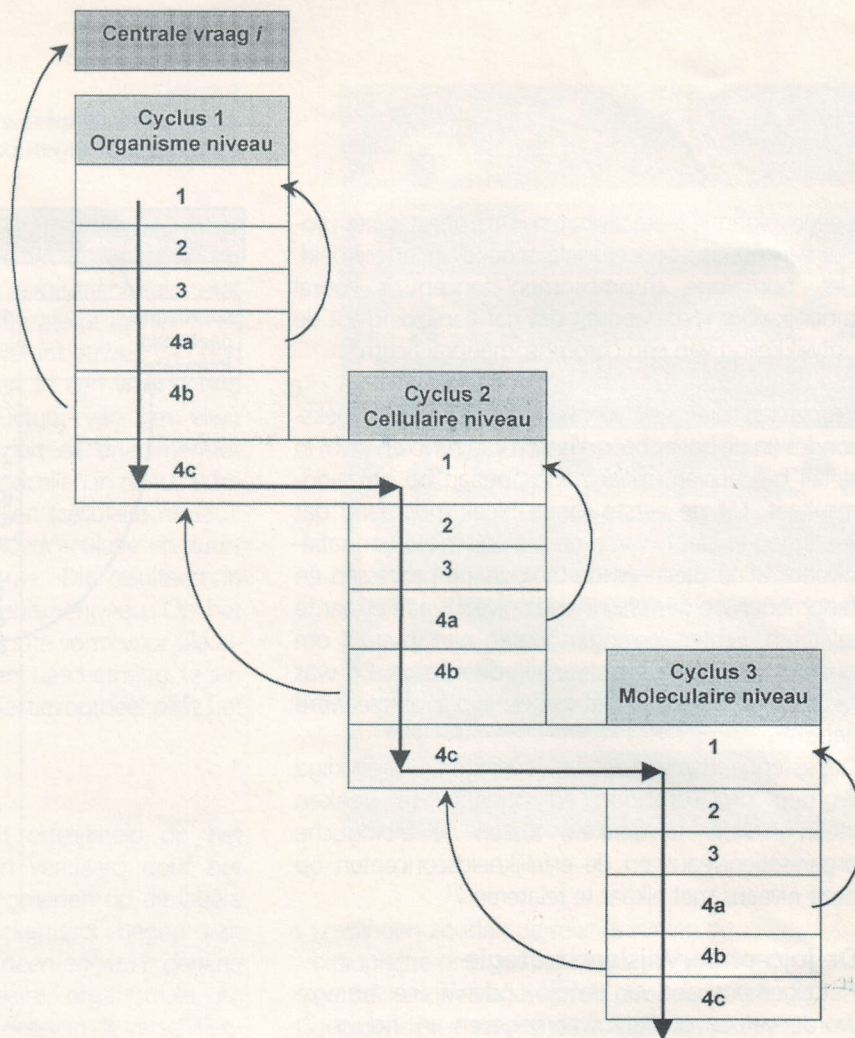
Terwijl deze opeenvolgende probleemstellende cycli worden doorlopen in de jojo-onderwijsleerstrategie, dalen leerlingen geleidelijk af van het organismale niveau naar het cellulaire en uiteindelijk naar het moleculaire niveau (zie figuur 4).



Figuur 3
De structuur van de reflectiestap binnen de probleemstellende cyclus

De terugkoppelingslusen naar de centrale vraag via de voorafgaande deelvragen in de *reflectiefase* komen overeen met het opstijgen in de biologische organisatie-niveaus. De essentie van 'jojo-en' is het *niet alleen* terugkomen op de deelvraag die op dat moment beantwoord moet worden, maar ook terugkoppelen naar de *voorgaande deelvraag/vragen* (op hogere niveau(s)), het opstijgen. In het afdalen in de biologische organisatie-niveaus mag geen niveau worden overgeslagen. Hetzelfde geldt voor de genetische sleutelbegrippen, die gezien kunnen worden als de stappen in de conceptuele structuur.

Het voorgaande illustreert de analogie met het speelgoed 'jojo'. In het hanteren van een jojo is het onmogelijk om een deel van de neergaande of opgaande weg over te slaan. Het is mogelijk om omhoog te jojo-en en omlaag te jojo-en, maar het anker- en startpunt blijft altijd gelijk: de hand die de jojo hanteert. In de jojo-onderwijsleerstrategie voor genetica is het start- en ankerpunt het organismale niveau, vanwaar de niveaus kunnen worden afgedaald en opgestegen (neerwaarts jojo-en) maar ook opgestegen naar het populatie- en levensgemeenschapniveau (opwaarts jojo-en). In de jojo-onderwijsleerstrategie is het essentieel om per biologisch organisatie-niveau tenminste één complete probleemstellende cyclus te doorlopen.



Figuur 4
Schematische weergave van de jojo-onderwijsleerstrategie: het afdalen en opstijgen in de biologische organisatieniveaus door middel van de vier probleemstellende stappen.

De jojo werkt

Het blijkt te werken. De jojo-strategie voor genetica (bijlage 2)⁵ maakt de complexe aard van de genetica hanteerbaar door de biologische organisatieniveaus expliciet te onderscheiden en door het afdalen en opstijgen in deze niveaus, startend vanaf het organismeniveau. Het expliciteren van de niveaus maakt het niveaudoorsnijdende karakter van de erfelijkheid duidelijk voor leerlingen. Het verschaft inzicht in welke erfelijkheidsfenomenen, processen en structuren zich voordoen op de verschillende organisatieniveaus. De genetische terminologie is afgestemd op het specifieke niveau waarmee leerlingen op dat moment bezig zijn. Dit voorkomt verwarring. De moeilijkheden bij het leren en onderwijzen van de genetica beschreven in de literatuur ten aanzien van cytologische processen, het homologe chromosoomconcept en chromosoomstructuur zijn grotendeels verdwenen.

De jojo-strategie benadrukt de genetische sleutelbegrippen per organisatieniveau en hun onderlinge samenhang. De relatie tussen voortplanting, meiose en erfelijkheid op het organismale en cellulaire niveau wordt benadrukt, waarbij deze sleutelbegrippen concreet worden gemaakt zodat de abstracte aard van

genetica wordt gereduceerd.

De probleemstellende structuur van de inhoudsgerelateerde deelvragen en reflectieactiviteiten blijkt inderdaad motieven aan leerlingen te verschaffen om een volgende leeractiviteit te ondernemen, waarin een volgend sleutelbegrip op een specifiek organisatieniveau wordt verkend.

Door middel van de jojo-onderwijsleerstrategie is het beoogde leerdoel behaald, wat inhoudt dat leerlingen de competentie van het heen-en-weer denken tussen de biologische organisatieniveaus en het relateren van de erfelijkheidsconcepten op deze niveaus hebben verworven.

Bredere toepasbaarheid

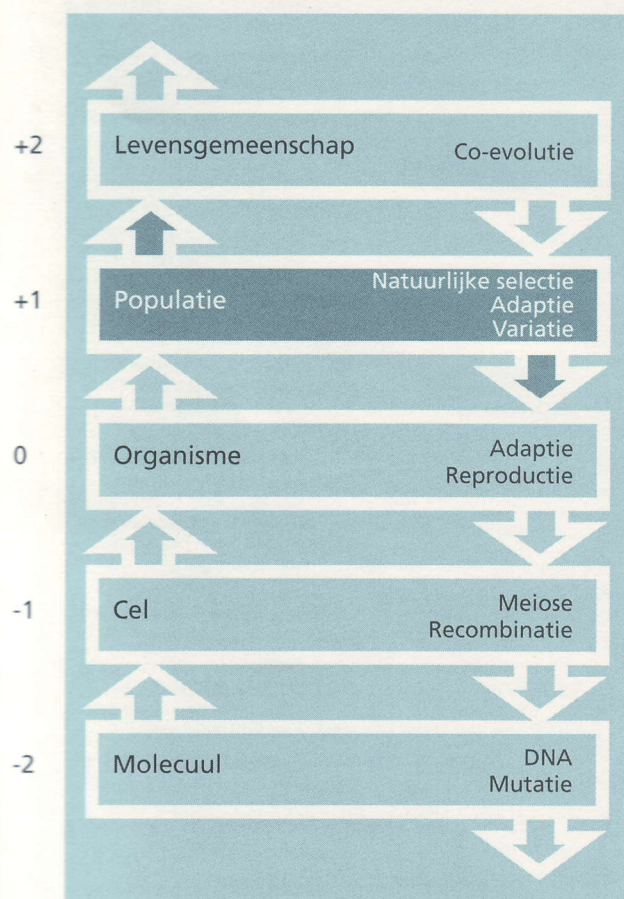
De jojo-onderwijsleerstrategie is ontwikkeld voor het onderwerp genetica maar heeft zeker potentie om breder ingezet te worden. Aangezien de biologische organisatieniveaus een rol spelen in de meeste biologische thema's, zou de jojo-strategie ook toepasbaar kunnen zijn voor andere onderwerpen die verscheidene organisatieniveaus doorsnijden, bijvoorbeeld gedrag, evolutie en ecologie. Elke keer zouden de volgende stappen daarvoor moeten worden doorlopen:

- Sleutelbegrippen voor het onderwerp bepalen
- Betrokken organisatieniveaus bepalen
- Starten op het organismeniveau (van daaruit geleidelijk afdalen/opstijgen)
- Centraal probleem formuleren (de moeilijkste stap, aangezien het een pakkende startvraag moet zijn die aansluit bij de leefwereld en ervaringen van leerlingen, motiverend en biologisch relevant)
- Tenminste één volledige probleemstellende cyclus per biologisch organisatieniveau doorlopen.

Wanneer we een eerste indeling voor bijvoorbeeld het thema evolutie maken, houdt dit dus in dat we de domeinspecifieke (genetisch-inhoudelijke) component 'eruit schuiven'. Vervolgens bepalen we de sleutelbegrippen voor het onderwerp evolutie en de relevante biologische organisatieniveaus. Het popula-

tie- en levensgemeenschapniveau doen nu hun intrede en hun relatie met genetica zal verhelderd moeten worden. Een eerste indeling van de sleutelbegrippen per organisatieniveau voor het thema evolutie volgens de jojo-strategie is weergegeven in figuur 5. Vervolgens zal er nog een pakkend en biologisch relevant centraal probleem geformuleerd moeten worden, dat in opvolgende probleemstellende leeractiviteiten beantwoord zal worden. Per biologisch organisatieniveau zal tenminste één volledige probleemstellende cyclus moeten worden doorlopen (zie figuur 3).

MARIE-CHRISTINE KNIPPELS IS WERKZAAM BIJ HET CENTRUM VOOR DIDAKTIK VAN DE BETA-WETENSCHAPPEN AAN DE UNIVERSITEIT UTRECHT. ZIJ IS OP 19 SEPTEMBER 2002 GEPROMOVEERD OP HET PROEFSCHRIFT *COPING WITH THE ABSTRACT AND COMPLEX NATURE OF GENETICS IN BIOLOGY EDUCATION*.



Noten

- 1 M.U. Smith & P.E. Simmons (1992). *Teaching Genetics. Recommendations and research proceedings of a national conference*. Cambridge, Massachusetts, March 18-21.
- 2 J. Stewart & R. Hafner (1994). Research on problem solving: genetics. In: D.L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning Project*, New York, MacMillan Publish Company: 284-300.
- 3 M.C.P.J., Knippels, A.J. Waarlo & K.Th. Boersma (2000). Biology teachers' perceptions of learning problems in Mendelian genetics. In: Andersson, B., Harms, U., Helldén, G. and Sjöbeck, M.L. (Eds.), *Research in Didaktik of Biology. Proceedings of the second conference of European Researchers in Didaktik of Biology (ERIDOB)*, University of Göteborg, Sweden, November 18-22, 1998. Göteborgs Universitet, NA-Spektrum: pp. 269-274.
- 4 C.W.J.M. Klaassen (1995). *A problem-posing approach to teaching the topic of radioactivity*. Utrecht, CDB-press.
- 5 Marie-Christine Knippels, Arend Jan Waarlo en Kerst Boersma, (2001). Betekenisvol geneticaonderwijs. Een chromosomenpracticum. *Niche* 32 (5), 14-17.
- 6 De bijlagen zijn te vinden op de website van Niche, www.nibi.nl

Figuur 5

Eerste indeling van de sleutelbegrippen per organisatieniveau voor het thema evolutie volgens de jojo-strategie